

ოკეანის ინჟინერია

**გეომორფოლოგიური პრობლემების გადაჭრის გზები
საქართველოს შავიზღვისპირა რეგიონებში ინოვაციური
ტექნოლოგიების გამოყენებით**

ივანე სალინაძე

აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი
ქუთაისი, საქართველო
vanosag@gmail.com

ნაშრომში შემოთავაზებულია ზღვის სანაპირო არეების ეროზიული პროცესებისაგან დაცვის ინოვაციური ტექნოლოგია, რომელიც საქართველოში არ არის აპრობირებული. ახალი მეთოდი დაფუძნებულია ქვიშით შევსებული გეოტექსტილის დრეკადი მილბებისგან დამზადებული ტალღამტეხი წყალქვეშა ბარიერების (გეოტუბების) გამოყენებაზე. რამდენიმე წყალქვეშა გეოტუბის გამოყენების შემთხვევისთვის განხილულია ქალაქ ფოთის ზღვის სანაპირო ზოლის ეროზიული უბანი, რომელიც მდებარეობს მდინარე რიონის „საქალაქო არხის“ შესართავის სამხრეთით. გეოტუბები განლაგებულია ნაპირის პარალელურად. გეოტუბებზე ტალღების გადავლების შემდეგ სანაპირო ზოლში წარმოშობილი წყლის დინებების ცირკულაციების ტიპების დასადგენად გამოიყენება ანალიზური მეთოდი. 2-უჯრედიანი ცირკულაციების დროს ნაპირი ეროზიულია, ხოლო 4-უჯრედიანის დროს - ზრდადი (აკრეციული). მიღებულია განტოლებათა სისტემა, რომლის რიცხვითი ამოხსნის შედეგად დადგენილია ქალაქ ფოთის სანაპირო ზოლისათვის გეოტუბების განთავსების პარამეტრები, როცა შესაბამისი ნაპირის მორფოლოგიური რეაქცია იქნება აკრეციული. გამოკვლეულია გეოტუბების სიგრძეების, მათი ნაპირიდან დაშორების, გეოტუბებს შორის შუალედების, ტალღების სიმაღლისა და წყლის გვერდითი შემაკავებელი კოეფიციენტის ცვლილების გავლენა ნაპირის მორფოლოგიური რეაქციის ხასიათზე. შედეგად დადგენილია იმ წყალქვეშა გეოტუბების პარამეტრები, რომელთა ზღვაში განთავსების შემდეგ ნაპირი დაცული იქნება გამორეცხვებისაგან და სანაპირო ზოლი გაიზრდება.

საკვანძო სიტყვები: ტალღა, ნაპირი, ეროზია, გეოტუბი

შესავალი. საქართველოს შავიზღვისპირეთი ამჟამად, მთლიანად ეროზირებულია და მოფენილია ისეთი ნაპირდამცავი ნაგებობებით, როგორიცაა ბეტონის ბუნები, ტალღამრიდი ბლოკები, ტრავერსები, შპუნტური მწკრივები და ა.შ. ამ ნაგებობებს გარდა პოზიტიურისა, გააჩნია მნიშვნელოვანი ნეგატიური მხარეც: ისინი იცავენ რა ზღვის ნაპირის ერთ უბანს წარეცხვისგან, ამავე დროს თვითვე უწყობენ ხელს ინერტული მასალის

ი. სალინაძე

დეფიციტის წარმოქმნას და პლაჟის წარეცხვას ნაპირის მეზობელ - დაუცველ უბანზე (გაგოშიძე ... 2017).

გარდა ამისა, ზემოთ ჩამოთვლილი ნაპირდამცავი კონსტრუქციები ამახინჯებენ სანაპირო ზოლის ლანდშაფტს და უხერხულობას უქმნიან დამსვენებლებს. მათი ექსპლუატაციის ხანგრძლივობა შედარებით მცირეა, რადგან მძლავრი შტორმული ტალღები ხშირად ანგრევს მათ და უკარგავს ფუნქციას (ნახ.1).



ნახატი 1. ქალაქ ფოთის წარეცხილი ნაპირი

საქართველოს საზღვაო რეგიონში რამდენიმე ათეული წელია არსებობს გარემოსდაცვითი და გეომორფოლოგიური ხასიათის დღემდე გადაუჭრელი პრობლემები, რაც განაპირობა ამ რეგიონში, სხვადასხვა წლებში და სხვადასხვა მიზნით წარუმატებლად დაპროექტებულმა და განხორციელებულმა ჰიდროსაინჟინრო მშენებლობებმა (გაგოშიძე ... 2017).

ნაშრომში შემოთავაზებულია ზღვის სანაპირო არეების ეროზიული პროცესებისაგან დაცვის ინოვაციური ტექნოლოგია, რომელიც გულისხმობს ქვიშით შევსებული გეოტექსტილის დრეკადი მილებისგან დამზადებული ტალღამტეხი წყალქვეშა ბარიერების (გეოტუბების) გამოყენებას, რაც საქართველოში არ არის აპრობირებული.

რამდენიმე ნაპირის პარალელური წყალქვეშა გეოტუბების შემთხვევაში განხილულია ქალაქ ფოთის ზღვის სანაპირო ზოლის ეროზიული უბანი, რომელიც მდებარეობს მდინარე რიონის „საქალაქო არხის“ შესართავის სამხრეთით.

ჰიდროლოგიური და ჰიდრომეტრიული მონაცემები. შავი ზღვის სანაპირო ზოლში ღია ზღვაში ტალღურ მოძრაობებზე მრავალწლიან დაკვირვებებზე დაყრდნობით მიღებულია, რომ ძირითადად გაბატონებულია დასავლეთის მიმართულების ტალღები, კერძოდ: დასავლეთის ტალღები შეადგენს წლიური მთლიანი ტალღების 44,7%-ს, სამხრეთ დასავლეთის - 39,0%-ს,

ჩრდილო დასავლეთის - 8,8%-ს, ხოლო ჩრდილოეთისა და სამხრეთის ჯამში - 7,5%-ს (გაგოშიძე ... 2017).

ფოთის რეგიონში ტალღების საპროექტო მახასიათებლები მოცემულია ცხრილში (გაგოშიძე ... 2017):

ცხრილი 1

მიმართულება	ტალღის სიმაღლე (მ)	ტალღის პერიოდი (წმ)
ჩრდილო-დასავლეთი	2.4	5.5
ჩრდ-დასავლ-ჩრდ	4.4	7.5
დასავლეთი	5.9	9.0
დასავლ-სამხრ-დასავლ	5.4	8.5
სამხრეთ-დასავლეთი	6.0	8.5

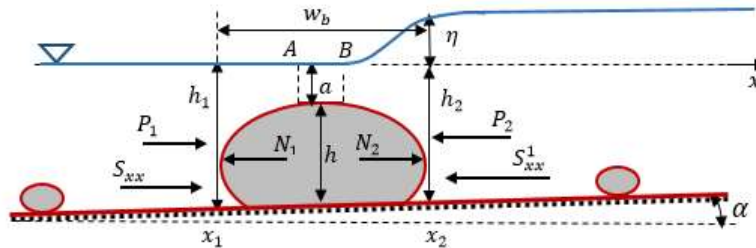
ფოთის მეტეოროლოგიური სადგურის მონაცემებით ზღვის წყლის აწევის ძალიან მაღალი დონეა 1,3მ, მაღალი დონეა - 0,5მ, წყლის დაბალი დონეა - 0,2მ, ხოლო წყლის ძალიან დაბალი დონე - 0მ. სანაპირო დინებების საშუალო სიჩქარეა - 0,1-0,25მ/წმ. ძლიერი შტორმების დროს, როცა ღია ზღვაში ტალღის სიმაღლე $H = 4 \div 5$ მ, მაშინ ტალღების პირველი დამსხვრევა ხდება ნაპირიდან 320 ÷ 400მ (გაგოშიძე ... 2017). შესაბამისად გეოტუბებთან მისული ტალღების ენერგია მცირდება, ხოლო ტალღის სიმაღლე ნაპირიდან 150 ÷ 200 მ დაშორებით იცვლება დიაპაზონში $H_i \sim 1,6 \div 2,0$ მ.

განვიხილავთ მცირე ქანობის მქონე პლაჟებს, სადაც ფსკერის საშუალო დახრილობა იცვლება დიაპაზონში - $\alpha = 0,015 \div 0,02$. სანაპირო ზოლი სილიანია და ნატანის საშუალო დიამეტრი - $D_{50} = 0,2 \div 0,3$ მმ. ასეთი სანაპიროებია ანაკლიაში, ყულევში, ფოთში, გრიგოლეთში, სუფსაში, ურეკსა და შეკვეთილში.

სანაპირო ზოლში წყალქვეშა ტალღმტეხების ასაგებად ვიყენებთ ქვიშით შევსებულ გეოტუბებს (ნახ 2).

ნაპირის პარალელური წყალქვეშა გეოტუბები სანაპიროს დაცვის მიმზიდველი ფორმაა. სხვა არსებულ ანალოგებისგან განსხვავებით, არ აზიანებს სანაპიროს ბუნებრივ ლანდშტაფტს, ხელს უწყობს ფლორისა და ფაუნის განვითარებას და რაც მთავარია ეკოლოგიურად და ეკონომიკურად მომგებიანია.

ი. სალინაძე



ნახატი 2. წყალქვეშა გეოტუბზე მოქმედი ძალების სქემა.

ამასთანავე გეოტუბებზე ტალღების გადავლებისას მის მიდამოებში წარმოიშვება რთული ჰიდროდინამიკური პროცესები, რაც ართულებს ნაპირის მორფოლოგიური რეაქციის ხასიათის პროგნოზირებას. ეს პროცესები კიდევ უფრო რთულდება რამდენიმე გეოტუბის გამოყენების შემთხვევაში. გეოტუბებზე ტალღების გადავლების შემდეგ წარმოშობილი საწინააღმდეგო ნაკადები და მათი ურთიერთქმედება ცალკეულ გეოტუბებთან იწვევენ, გეოტუბებსა და ნაპირს შორის, რთული ხასიათის ტალღებისა და დინებების ფორმირებას (Ranasinghe ... 2006b: 589-611). ნაშრომის მიზანია ნაპირის პარალელური რამდენიმე წყალქვეშა გეოტუბის შემთხვევაში ნაპირის მორფოლოგიური რეაქციის პროგნოზირების მეთოდების შემუშავება და ფოთის სანაპირო ზოლისათვის იმ გეოტუბების პარამეტრების დადგენა, რომელთა განთავსება დაიცავს ნაპირს გამორეცხვებისაგან.

ძირითადი ნაწილი. ძირითადი პარამეტრები, რომლებიც განსაზღვრავენ წყალქვეშა გეოტუბების ეფექტურობას არის:

1. ჰიდროდინამიკური პარამეტრები: ტალღის სიმაღლე - H , ტალღის პერიოდი - T და გავრცელების მიმართულება - θ ;
2. გეოტუბების პარამეტრები: გეოტუბის ქიმის დაშორება წყლის ზედაპირიდან - $a = 0,4 \div 0,6$ მ, გეოტუბის სიგრძე - L_b , სიგანე - w_b , ნაპირიდან დაშორება - x_b , გეოტუბებს შორის შუალედის სიგრძე - L_g და წყლის სირღმე გეოტუბთან - h_1 ;
3. ნაპირის ფიზიკური პარამეტრები: ნაპირის ბატიმეტრია - $h(x)$ და ფსკერული ნატანის საშუალო ზომა - D_{50} ;

იმ შემთხვევაში, როცა ტალღმტეხის ზედაპირს გააჩნია მცირე სიმქისე (ასეთია გეოტუბის ზედაპირი), მაშინ მასზე ტალღების გადავლისას ადგილი აქვს ხახუნზე ენერგიის მცირე დანაკარგს და ტალღების გადაცემისას გეოტუბის სიგანე არ მიიღება მხედველობაში (სალინაძე ... 2018: 63-67). ასეთ

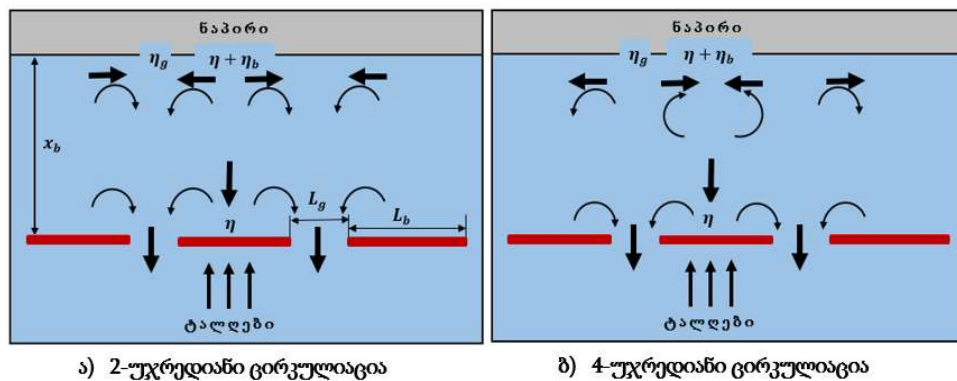
შემთხვევაში ტალღების გადაცემის კოეფიციენტი გამოითვლება ფორმულით (Dean ... 1977: 1-44, Pilarczyk ... 2003, სალინაძე ... 2018):

$$K_t = -0,3 \cdot \frac{a}{H_i} + 0,75 \cdot (1 - e^{-0,5\xi}), \quad \xi = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{\frac{H_i}{L}}}, \quad \xi < 3, \quad (1)$$

სადაც ξ – ირიბარენის კოეფიციენტი; L – ტალღის სიგრძეა გეოტუბთან – $L = \frac{gT^2}{2\pi}$; T – ტალღის პერიოდი.

გამოკვლევებმა აჩვენა, რომ ნაპირის მორფოლოგიური რეაქციის საწყისი რეჟიმი დამოკიდებულია გეოტუბებსა და ნაპირს შორის წარმოშობილი დინებების ხასიათზე (Ranasinghe ... 2006a: 65-77, Bellotti ... 2007: 975-989, Ranasinghe ... 2006b).

დინებების 2-უჯრედიანი სქემა ნაპირთან იწვევს განშლად ნაკადებს და შესაბამისად ნაპირი ეროზიულია (ნახ. 3ა), ხოლო 4-უჯრედიანი დინებები ნაპირთან იწვევენ შემკრებ ნაკადებს და ნაპირი ზრდადია (აკრეციულია) (Ranasinghe ... 2006b) (ნახ. 3ბ).



ნახ. 3. გეოტუბებზე ტალღების გადავლებისას წარმოშობილი 2 და 4 უჯრედიანი დინებები

ტალღები სიმაღლით H_i , რომლებიც მიდიან წყალქვეშა გეოტუბთან დაიმსხვრევიან მასზე და წარმოიშვება ახალი ტალღა სიმაღლით – H_t . ტალღების დაიმსხვრევის შედეგად მოხდება წყლის დონის აწევა სიდიდით – η . შემდეგში წარმოშობილი ტალღა დაიმსხვრევა ნაპირთან ახლოს h_b სიღრმეზე და წყლის დონე დამატებით აიწევს – η_b . ამრიგად ნაპირთან ზღვის დონის აწევის სიდიდე იქნება – $\eta + \eta_b$. გეოტუბებს შორის გასული ტალღა დაიმსხვრევა ნაპირთან და წყლის დონის აწევა იქნება η_g (ნახ. 3).

ი. სალინაძე

ნაშრომებში (Bellotti ... 2007:975-989, Ranasinghe ... 2010:1006-1017, Villani ... 2012) შემოღებულია პარამეტრი r , რომლის მეშვეობით დგინდება წყალქვეშა გეოტუბების განთავსების შემდეგ ნაპირის მორფოლოგიური რეაქციის ხასიათი

$$r = \frac{\eta + \eta_b}{\eta_g}, \quad (2)$$

როცა $r > 1$ ადგილი აქვს ნაპირის ეროზიას, ხოლო $r < 1$ - ნაპირის ზრდას (აკრეციას).

ვისარგებლოდ მასის შენახვისა და დროის ერთეულში იმპულსის ცვლილების კანონებით, მივიღებთ:

$$u_1 \cdot h_1 = u_2 \cdot (h_2 + \eta), \quad (3)$$

$$\rho(h_2 + \eta)u_2^2 - \rho h_1 u_1^2 = -\Delta P - \Delta S_{xx} + \Delta N - T_{bx} \quad (4)$$

სადაც T_{bx} - ფსკერის ხახუნის ძალაა; ΔP - არის $x_1 x_2$ კვეთში (ნახ. 2) წნევის ძალის სიდიდის ცვლილება x ღერძის მიმართულებით და ტოლია:

$$\Delta P = P_2 - P_1 = \frac{1}{2} \rho g (h_2 + \eta)^2 - \frac{1}{2} \rho g h_1^2. \quad (5)$$

მე-(5) ტოლობაში S_{xx} - არის რადიაციული ძაბვა, რომელიც გამოითვლება შემდეგი ფორმულით (Haller ... 2002):

$$S_{xx} = \rho g H^2 \left[\frac{1}{8} \left(\frac{1}{2} + \frac{2kh}{\sin 2kh} \right) + \frac{0,9kh}{2\pi} \right] = \rho g \beta H^2, \quad (6)$$

სადაც

$$\beta = \frac{1}{8} \left(\frac{1}{2} + \frac{2kh}{\sin 2kh} \right) + \frac{0,9kh}{2\pi}.$$

მე-(6) ტოლობის გათვალისწინებით:

$$\Delta S_{xx} = \rho g (\beta_2 H_2^2 - \beta_1 H_1^2). \quad (7)$$

სითხის ქვედა ნაწილზე მოქმედი რეაქციის ძალებია N_1 და N_2 , ხოლო $\Delta N = N_2 - N_1$. ნახ. 2-დან გვექნება:

$$N_1 = \frac{\rho g a + \rho g h_1}{2} \cdot (h_1 - a); \quad N_2 = \frac{\rho g (a + \eta) + \rho g (h_2 + \eta)}{2} \cdot (h_2 - a).$$

აქედან

$$\Delta N = \rho g \cdot \frac{h_2^2 - h_1^2}{2} + \rho g \eta (h_2 - a). \quad (8)$$

გეოტუბებზე ტალღების გადავლებისას დომინირებს წყლის ნაპირისკენ მოძრაობა, ამიტომ ჯამური ფსკერული ხახუნის ძალა T_{bx} ძირითადად მიმართულია მის საწინააღმდეგოდ და გამოითვლება ფორმულით (Bellotti ... 2007):

$$T_{bx} = \rho \mu B u_1 h_1, \quad \mu = f_w \frac{\sqrt{g}}{\pi}, \quad B = \int_0^{w_b} \frac{dx}{\sqrt{h(x)}} \quad (9)$$

წყალქვეშა ხორკლიანი ბარიერებისათვის f_w -ს მნიშვნელობა მოთავსებულია დიაპაზონში $0,1 \div 1$, ხოლო გლუვი ზედაპირისათვის (გეოტუბებისათვის) მიახლოებით ტოლია $f_w \approx 0,02$ (Kamphuis ... 1975: 135-144, Haller ... 2002).

სანაპირო ზოლში პლაჟის წონასწორობის პროფილისა და სიღრმეების განსაზღვრისათვის ვისარგებლოდ ფორმულით (Dean ... 1977):

$$h(x) = A \cdot x^{\frac{2}{3}}, \quad A = 0,21D_{50}^{0,48} \quad (10)$$

მიღებული ტოლობები (3), (5), (7), (8) და (9) ჩავსვათ მე-(4)-ში და საბოლოოდ მივიღებთ:

$$u_1^2 \left[\frac{h_1^2}{g(h_2 + \eta)} - \frac{h_1}{g} \right] + \mu B u_1 h_1 + \eta a + \frac{\eta^2}{2} + C = 0, \quad (11)$$

სადაც

$$C = \beta_2 H_t^2 - \beta_1 H_i^2.$$

მე-(11) განტოლება შეიცავს ორ უცნობს η და $q_1 = u_1 h_1$. დამატებითი განტოლების მისაღებად ვისარგებლოთ მასის შენახვის კანონით. კერძოდ წყალი, რომელიც ნაპირის მიმართულებით გადაეცლება გეოტუბებს უნდა დაბრუნდეს უკან გეოტუბებს შორის შუალედებში:

$$u_1 h_1 L_b = u_g h_g L_g, \quad (12)$$

სადაც h_g და u_g - შესაბამისად შუალედის სიღრმე და წყლის სიჩქარე. წყლის უკან დაბრუნების სიჩქარე გამოწვეულია გეოტუბის უკან წყლის დონის აწევით, ამიტომ (Villani ... 2012):

$$u_g = C_1 \sqrt{2g\eta}, \quad (13)$$

სადაც კოეფიციენტი $C_1 = 0,54$ (Ranasinghe ... 2010).

(12) და (13) ტოლობებიდან გამომდინარეობს:

$$q_1 = u_1 h_1 = C_1 \sqrt{2g\eta} \cdot h_g \cdot \frac{L_g}{L_b} \quad (14)$$

მიღებული (11) და (14) განტოლებათა სისტემის ამოხსნით განისაზღვრება η , ხოლო η_b და η_g განისაზღვრებიან ფორმულით (სალინაძე ... 2018):

$$\eta_b = \frac{5}{16} \gamma H_b; \quad \eta_g = \frac{5}{16} \gamma H_g, \quad (H_b = H_t, \quad H_g = H_i)$$

სადაც γ ტალღების დამსხვრევის პარამეტრია, რომელიც განისაზღვრება ფორმულით (გაგოშიძე ... 2017):

$$\gamma = \frac{H_b}{h_b} = \frac{H_g}{h_g} \approx 0,78,$$

ხოლო H_t - გამოითვლება (1) ფორმულით.

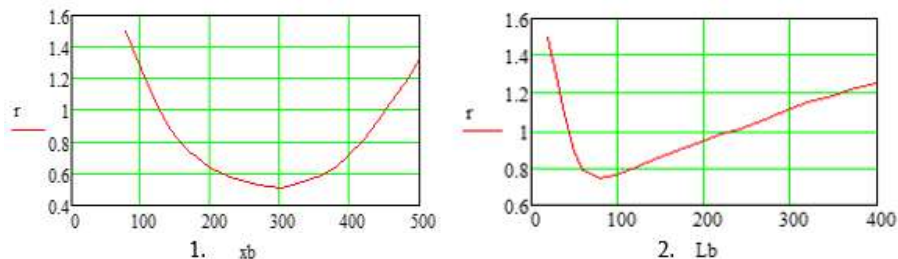
რიცხვითი ამოცხსნის შედეგები მოცემულია ქვემოთ მოყვანილ ცხრილში.

$L_b = 120\text{მ}$	$L_g = 60\text{მ}$	$L_g = 80\text{მ}$	$L_g = 100\text{მ}$	$L_g = 120\text{მ}$
$x_b = 120\text{მ}$	-	+	+	+
$x_b = 180\text{მ}$	-	+	+	+
$L_b = 150\text{მ}$	$L_g = 60\text{მ}$	$L_g = 80\text{მ}$	$L_g = 100\text{მ}$	$L_g = 120\text{მ}$
$x_b = 120\text{მ}$	-	-	+	+
$x_b = 180\text{მ}$	-	-	-	+

ნიშანი „-“ შეესაბამება ნაპირის ეროზიას, ხოლო ნიშანი „+“ ნაპირის ზრდას (აკრეცია)

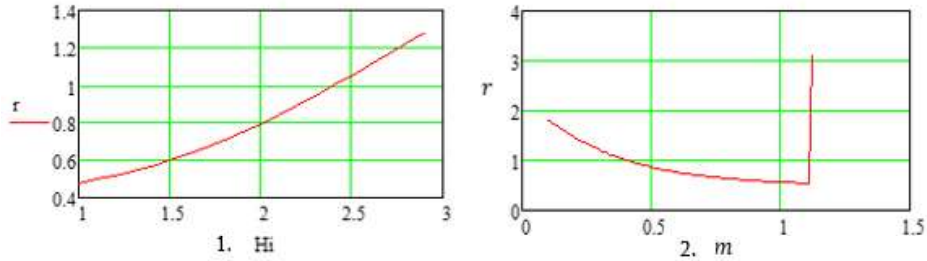
ნახ. 4 და 5-ზე ნაჩვენებია გეოტუბის პარამეტრების ცვლილების გავლენა ნაპირის მორფოლოგიური რეაქციის ხასიათზე, როცა სისტემის დანარჩენი პარამეტრები მუდმივია.

ნახ. 4-ზე ნაჩვენებია გეოტუბების ნაპირიდან დაშორების - x_b და გეოტუბის სიგრძის - L_b -ს ცვლილების გავლენა ნაპირის რეაქციის ხასიათზე, როცა სისტემის დანარჩენი პარამეტრები მუდმივია, კერძოდ: ა) 4.1-ზე - $L_b = 120\text{მ}$ და $L_g = 100\text{მ}$; ბ) 4.2-ზე - $x_b = 180\text{მ}$ და $L_g = 100\text{მ}$.



ნახ. 4. გეოტუბების სიგრძისა და ნაპირიდან დაშორების გავლენა ნაპირის რეაქციის ხასიათზე

ნახ. 5-ზე მოცემულია ტალღის სიმაღლის H_i და გეოტუბის უკან ნაპირისკენ წყლის გვერდითი შეკავების კოეფიციენტის - $m = \frac{L_g}{L_b}$ ცვლილების გავლენა ნაპირის რეაქციის პარამეტრზე r -ზე, როცა $L_b = 120\text{მ}$ და $x_b = 180\text{მ}$.



ნახ. 5. ტალღის სიმაღლის და წყლის გვერდითი შეკავების კოეფიციენტის ცვლილების გავლენა ნაპირის რეაქციის პარამეტრზე

შედეგების ანალიზი და დასკვნები. ნახ 4.1-დან გამომდინარეობს შუალედში $120 \leq x_b \leq 450$, ნაპირის რეაქციის პარამეტრი $r < 1$ ადგილი აქვს გეოტუბსა და ნაპირს შორის წყლის 4-უჯრედიან ცირკულიაციას და ნაპირი აკრეციულია. შუალედს გარეთ, როცა გეოტუბები განთავსებულია ნაპირთან ახლოს ან ნაპირიდან შორს, მაშინ $r \geq 1$ წყლის ცირკულიაცია 2-უჯრედიანია და ნაპირი ეროზიულია.

ნახ. 4.2-დან, როცა $40 \leq L_b \leq 220$, მაშინ $r < 1$ და ნაპირი აკრეციულია, ხოლო შუალედს გარეთ - ეროზიული.

ნახ. 5.1-დან გამომდინარეობს, როცა ტალღის სიმაღლე მოთავსებულია დიაპაზონში $1 \leq H_i \leq 2,4$, მაშინ ნაპირის რეაქცია აკრეციულია, ხოლო როცა $H_i > 2,4$, მაშინ $r > 1$ -ზე და ნაპირის რეაქცია არის ეროზიული.

ნახ. 5.2-დან ჩანს, როცა წყლის გვერდითი შეკავების კოეფიციენტი $m = \frac{L_g}{L_b}$ მოთავსებულია შუალედში $0,4 \leq m \leq 1,2$, მაშინ $r < 1$ და ნაპირის მორფოლოგიური რეაქცია აკრეციულია, ხოლო შუალედს გარეთ - ეროზიული. როცა გეოტუბებს შორის შუალედი მცირეა, მაშინ ასევე მცირეა წყლის გვერდითი შეკავების კოეფიციენტი, კერძოდ ნახ 5.2-დან $m < 0,4$, მაშინ შედარებით ცოტა წყლის მასის შეკავება ხდება გეოტუბის უკან, ხოლო წყლის ძირითადი მასა ბრუნდება უკან ზღვაში გეოტუბებს შორის არსებული შუალედიდან, რომელიც თან წარიტაცებს დიდი ოდენობის ნატანს და ნაპირი ეროზიული ხდება. როცა გეოტუბებს შორის მანძილი დიდია $1,2 < m = \frac{L_g}{L_b} < 2$, მაშინ გეოტუბის უკან გროვდება დიდი მოცულობის წყალი. ეს წყალი მასის შენახვის კანონიდან გამომდინარე ბრუნდება ზღვაში შედარებით დიდი სიჩქარით, რაც იწვევს ნაპირის ეროზიას. როცა $m = \frac{L_g}{L_b} \geq 2$, მაშინ გეოტუბები უკვე აღარ მოქმედებს, როგორც სისტემა და ისინი შეიძლება განვიხილოთ, როგორც ცალკეული ერთი გეოტუბი (Ranasinghe ... 2010).

ი. სალინაძე

გამოკვლევებმა აჩვენა, რომ ფოთის სანაპირო ზოლში ნაპირის დაცვის მიზნით წყალქვეშა გეოტუბების განთავსება ოპტიმალურია ნაპირიდან 150÷200 მეტრში, რადგანაც ნაპირიდან დაშორების ამ დიაპაზონში ზღვის სიღრმეები იცვლება 2,4÷3,2 მეტრამდე და ამ შუალედში შეიძლება განთავსდეს სტანდარტული ორი ტიპის გეოტუბი:

1. დიამეტრი - $D = 3,25$ მ, სიმაღლე - $h = 2$ მ, სიგანე - $B = 4$ მ. ასეთი გეომეტრიული ზომების გეოტუბები, რომელთა სიგრძეა $L_b = 120$ მ და ერთმანეთისგან დაშორებულია $L_g = 100$ მ, ნაპირის დაცვის მიზნით შეიძლება განთავსდეს ნაპირიდან $x_b = 160$ მეტრში.

2. დიამეტრი - $D = 5$ მ, სიმაღლე - $h = 2,6$ მ, სიგანე - $B = 6$ მ. ასეთი გეომეტრიული ზომების გეოტუბები, რომელთა სიგრძეა $L_b = 120$ მ და ერთმანეთისგან დაშორებულია $L_g = 120$ მ, ნაპირის დაცვის მიზნით შეიძლება განთავსდეს ნაპირიდან $x_b = 190$ მეტრში.

ზემოთ ჩატარებული გაანგარიშებები აჩვენებს, რომ ორივე შემთხვევაში ნაპირის მორფოლოგიური რეაქცია აკრეციულია.

ჩვენ მიერ შემოთავაზებული მოდელის ამოხსნები შედარებულია ზღვის ანალოგიურ უბანზე მრავალგანზომილებიანი ჰიდროდინამიკური რიცხვითი მოდელის Delft3D - ის რიცხვით ამოხსნებთან (Deltares ... 2011) და ექსპერიმენტების შედეგებთან, რომლებიც შესრულებულია - (Haller ... 2002). შედარებამ აჩვენა, რომ ნაპირის პარალელური რამდენიმე წყალქვეშა გეოტუბების შემთხვევაში შემოთავაზებულ ანალიტიკურ მოდელს შეუძლია უზრუნველყოს სანაპირო ზოლის მორფოლოგიური რეაქციის სწრაფი პირველადი შეფასება.

ლიტერატურა

გაგოშიძე ... 2017: გაგოშიძე შ., კოდუა მ., სალინაძე ი., ქადარია ი. სამდინარო ჰიდრომშენებლობა და საქართველოს შავი ზღვისპირეთის გეომორფოლოგიური პროცესები. მონოგრაფია. გამომცემლ. „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, თბილისი, 2017.

სალინაძე ... 2018: სალინაძე ი., გამეზარდაშვილი ზ. შავი ზღვის ქალაქ ფოთის სანაპირო ზოლში შტორმების დროს ტალღების გავრცელებისას წყლის საშუალო დონის ცვლილების გაანგარიშება. „საქართველოს საინჟინრო სიახლენი“. №1, 2018.

Bellotti ... 2004: Bellotti G. A simplified model of rip currents systems around discontinuous barriers. *Coastal Engineering*, 51, 2004.

Bellotti ... 2007: Bellotti G. An Improved Analytical Model for Estimating Water level set-up and currents induced by waves over submerged low crested coastal defense structures. *Proceedings of the 5th Coastal Structures International Conference*, 1, 2007.

Dean ... 1977: Dean, R.G. Equilibrium Beach Profiles: U.S. Atlantic and Gulf Coasts. Department of Civil Engineering. Ocean Engineering Technical Report. Vol. 12. 1977. 1977.

Deltares ... 2011: Deltares. (2011a). Delft3D-FLOW, simulation of multi-dimensional hydrodynamic flows and transport phenomena, including sediments. User Manual. 2011.

Kamphuis ... 1975: Friction factor under oscillatory waves. Journal of the Waterways, Harbors and Coastal Engineering Division, 101(WW2), 1975.

Pilarczyk ... 2003: Pilarczyk, K. W. Design of low crested (submerged) structures: an overview. Paper presented at the Proceedings of the 6th Conference on Coastal and Port Engineering in Developing Countries. 2003.

Ranasinghe ... 2006a: Ranasinghe, R. and I.L. Turner. Shoreline Response to submerged structures: A review. *Coastal Engineering* 53, 2006.

Ranasinghe ... 2006b: Ranasinghe, R., I.L. Turner and G. Symonds. Shoreline response to multi-functional artificial surfing reefs: A numerical and physical modeling study. *Coastal Engineering* 53, 2006.

Ranasinghe ... 2010: Ranasinghe, R., M. Larson and J. Savioli. Shoreline response to a single shore-parallel submerged breakwater. *Coastal Engineering* 57, 2010.

Villani ... 2012: Villani, M., Bosboom, J., Zijlema, M., & Stive, M. J. F. Circulation patterns and shoreline response induced by submerged breakwaters. Paper presented at the Proceedings of the 33rd International Conference on Coastal Engineering, Santander. 2012.

Van der Meer ... 2005: Van der Meer, J.W., R. Briganti, B. Zanuttigh and B. Wang. Wave transmission and reflection at low crested structures: Design formulae, oblique wave attack and spectral change. *Coastal Engineering*, 52, 2005.

Zanuttigh ... 2008: Zanuttigh, B., Martinelli, L., & Lamberti, A. Wave overtopping and pilling-up at permeable low-crested structures. *Coastal Engineering*, 55(6), 2008.

Zijlema ... 2011: Zijlema, M., G. Stelling and P. Smit. SWASH: An operational public domain code for simulating wave fields and rapidly varied flows in coastal waters. *Coastal Engineering*, 58, 2011.

Haller ... 2002: Haller, M. C., Dalrymple, R. A., & Svendsen, I. A. Experimental study of nearshore dynamics on a barred beach with rip channels. *Journal of Geophysical Research*, 107(C6), 2002.

Ocean Engineering

Ways to solve geomorphological problems in the Black Sea regions of Georgia using innovative technologies

Ivane Saghinadze

Akaki Tsereteli State University
Kutaisi, Georgia
vanosag@gmail.com

The article proposes an innovative technology for protecting coastal areas from erosion processes, which is not approved in Georgia. New method is based on the use of underwater barriers (geotubes) from geotextile pipes filled with sand. In the case of using several underwater geotubes, an erosion site in the Black Sea coastal zone of the city of Poti, located to the south from the runoff of the "city channel" of the Rioni River, was considered. Geotubes are located along the coast. After geotubes are run over by the waves, to determine the types of water circulations formed in the coastal zone, the analytical method is used. With 2-cell circulation, the shore is erosive, and with 4-cell circulation it is accretionary. A system of equations is obtained. The numerical solution of the system determines the parameters of the location of geotubes when the morphological reaction of Poti coast is accretionary. The effect on the types of coastal reaction of the length of geotubes, their distance from the coast, intervals between geotubes, wave heights and changes in the coefficient of lateral water retention, is studied. As a result, there have been established the parameters of geotubes, after the placement of which in the sea, the coast will be protected from leaching, and the coastal zone will increase.

Keywords: wave, coast, erosion, geotube.

Introduction. Currently the Black Sea coast of Georgia is almost totally subjected to erosion and is covered with coast protective constructions such as concrete groynes, breakwaters, traverses, sheet piles, etc. Besides a positive side these constructions have also a significant negative one: while they protect particular segment of the beach against erosion, other, unprotected segments in the vicinities are experiencing washouts due to the deficit of nourishing particles.

As an addition, the aforementioned protective constructions distort the landscape and discomfort visitors. The lifetime of such constructions is rather short, as they are destroyed by strong storms, becoming so far useless (the example is given on Fig. 1).



Fig. 1. Blurred coast of the Poti city

Seaside region of Georgia suffers from unsolved problems of environmental and geomorphological nature for several decades, because of unsuccessfully designed and implemented hydro engineering projects of various purposes.

The article proposes an innovative technology for protecting coastal areas from erosion processes, which is not approved in Georgia. New method is based on use of underwater barriers (geotubes) from geotextile pipes filled with sand. In the case of using several underwater geotubes, an erosion site in the Black Sea coastal zone of the city of Poti, located to the south from the runoff of the "city channel" of the Rioni River, was considered.

Hydrological and hydrometric data. Based on long-term observations of wave movements in Black Sea coast and open sea, it was assumed that westward waves are predominant. In particular, the western waves - 44.7% of all annual waves, the southwest - 39.0%, the northwest - 8.8%, and the north and south together - 7.5%.

The design values of the waves in the Poti region in the table are given:

direction	Wave height (m)	Wave period (s)
North-west	2.4	5.5
North-West-North	4.4	7.5
West	5.9	9.0
West-South-West	5.4	8.5
South-west	6.0	8.5

According to the Poti meteorological station, the levels of sea water rise are: very high - 1.3 m, high - 0.5 m, low - 0.2 m, very low - 0 m. The coastline is sandy and the average sediment diameter is $D_{50} = 0,25$ mm. The average slope of the seabed is $\alpha = 0,016$. The average velocity of coastal currents is 0,1-0,25m/s.

ი. საღინაძე

During severe storms, the first wave breaking occurs at a distance - $320 \div 400$ m from the coast (გაგოშიძე ... 2017), which leads to a decrease of wave energy and the wave height of reaching geotubes varies in the range $H_i \sim 1,6 \div 2,0$ m.

Main part. The main parameters that determine the effectiveness of underwater breakwaters are:

1. Hydrodynamic parameters: wave height - H , wave period - T and propagation direction - θ ;
2. Parameters of underwater geotubes: the distance of the surface of the underwater geotube from the surface of the water - $a = 0,4 \div 0,6\delta$, the length of the geotube - L_b , the width - w_b , the distance from the coast - x_b , the interval between the geotubes - L_g and the depth - h_b ;
3. Physical parameters of the coast: bathymetry of the coast - $h(x)$ and the average size of the bottom sediment - D_{50} ;

To create underwater breakwaters in the coastal zone of the sea, we use geotubes filled with sand (Fig. 2).

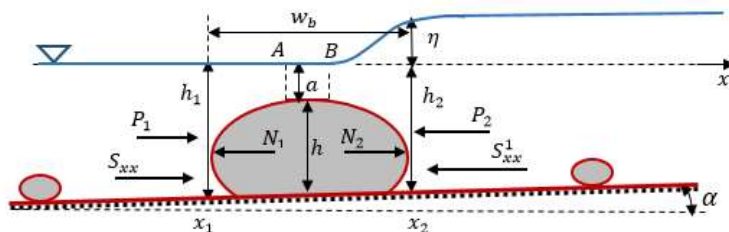


Fig. 2. Scheme of forces acting on an underwater geotube

Waves of height - H_i , approaching the underwater geotubes will collapse on it, and a new waves, of height - H_t , will appear. Because of the destruction of the waves, the water level rises by - η . Then the new wave will fall offshore to a depth - h_b , and the water level will rise further to - η_b . Thus, the sea level rise on the coast will be - $\eta + \eta_b$ (Fig. 3).

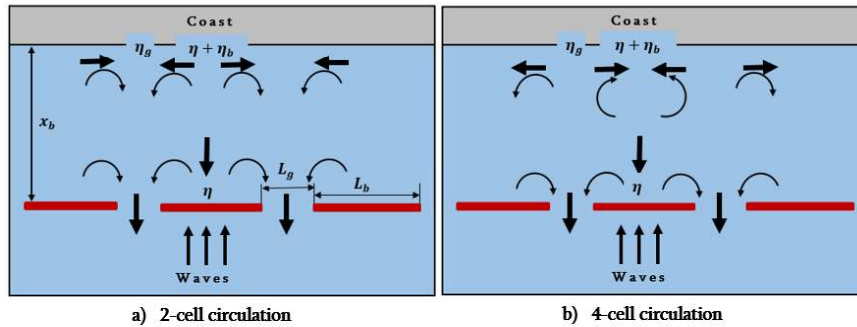


Fig. 3. Circulation of currents that occur during the passage of waves above a breakwater

In the works (Bellotti ... 2007, Ranasinghe ... 2010, Villani ... 2012), the parameter r is introduced, which determines the type of coastline reaction after the placement of underwater geotubes:

$$r = \frac{\eta + \eta_b}{\eta_g}. \quad (1)$$

When $r > 1$ the erosion of the shore takes place and $r < 1$ - the accretion of the shore (Ranasinghe ... 2006a, Bellotti ... 2007, Ranasinghe ... 2006b).

To determine η , we use the law of mass storage and momentum change per unit time, we obtain:

$$u_1 \cdot h_1 = u_2 \cdot (h_2 + \eta), \quad (2)$$

$$\rho(h_2 + \eta)u_2^2 - \rho h_1 u_1^2 = -\Delta P - \Delta S_{xx} + \Delta N - T_{bx} \quad (3)$$

From system (2) and (3) we obtain:

$$u_1^2 \left[\frac{h_1^2}{g(h_2 + \eta)} - \frac{h_1}{g} \right] + \mu B u_1 h_1 + \eta a + \frac{\eta^2}{2} + C = 0, \quad (4)$$

$$q_1 = u_1 h_1 = C_1 \sqrt{2g\eta} \cdot h_g \cdot \frac{L_g}{L_b}. \quad (5)$$

From which η is determined, while η_b and η_g are defined by formulas:

$$\eta_b = \frac{5}{16} \gamma H_b; \quad \eta_g = \frac{5}{16} \gamma H_g,$$

Where $\gamma = \frac{H_b}{h_b} = \frac{H_g}{h_g} \approx 0,78$ is the parameter of waves breaking.

The results of numerical solutions of the system of equations (8) and (11) are shown in the graphs below (Fig. 4).

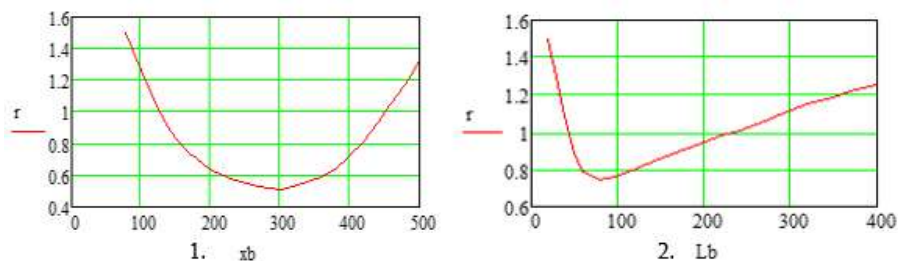


Fig. 4. the effect of the length of the geotube and the distance from the coast on the nature of the reaction of the coast

In fig. 4 shows the effect of changing the distance from the coast of the geotube - x_b and the length of the geotube - L_b on the nature of the coastal reaction, when other parameters of the system are constant, namely: a) at fig. 4.1 - $L_b = 120\text{m}$ and $L_g = 100\text{m}$; b) at fig. 4.2 - $x_b = 180\text{m}$ and $L_g = 100\text{m}$.

Analysis of the results and conclusions. Figure 4.1 shows that in the interval $120 \leq x_b \leq 450$, the parameter determining the nature of the coastal reactions is $r < 1$, and therefore the coast is accretionary. Out of the interval, when geotubes are located near the coast or far from the coast, $r \geq 1$ and the coast are erosive.

From fig. 4.2 shows that when $40 \leq L_b \leq 220$, then $r < 1$ and the coastal zone grows, and outside the interval $r \geq 1$, the coastal zone decreases, the coast is erosive.

Studies have shown that the placement of underwater geotubes in the Poti coastal zone is convenient at a distance of $120 \div 200$ meters from the coast, since the sea depth in this range varies from 2.4 to 3.1 meters and, therefore, Standard two types of geotubes can be placed:

1. Diameter - $D = 3,25\text{m}$, height - $h = 2\text{m}$, width - $B = 4\text{m}$. Geotubes of such geometric dimensions, the length of which is $L_b = 120\text{m}$, and the distance between them $L_g = 100\text{m}$, for the protection of the shore can be placed at a distance $x_b = 160$ meters from the coast.
2. Diameter - $D = 5\text{m}$, height - $h = 2,6\text{m}$, width - $B = 6\text{m}$. Geotubes of such metric dimensions, the length of which is $L_b = 120\text{m}$, and the distance between them $L_g = 120\text{m}$, for the protection of the shore can be placed at a distance $x_b = 190$ meters from the coast.

The calculations show that in both cases the morphological reaction of the coast is accretionary.